

# ИЗМЕРИТЕЛЬНО-ДИАГНОСТИЧЕСКИЙ КОМПЛЕКС ГЕНЕРАТОРА СИЛЬНОТОЧНЫХ ЭЛЕКТРОННЫХ ПУЧКОВ

А.И. Пушкарев, А.И. Прима

Национальный исследовательский Томский политехнический университет

E-mail: aipush@tpu.ru

## MEASURING AND DIAGNOSTIC COMPLEX OF HIGH-CURRENT ELECTRON BEAM GENERATOR

A.I. Pushkarev, A.I. Prima

National Research Tomsk Polytechnic University

**Annotation.** A complex of diagnostic equipment for a pulsed electron beam generator is presented, which provides measurement of the accelerating voltage, the total current of the electron beam and the distribution of the beam energy density across the cross section. The algorithm and results of calculating the energy spectrum of a pulsed electron beam (350-500 keV, 10 kA, 80 ns) are presented. The electron beam spectrum was calculated using the oscillograms of the accelerating voltage, electron current, total current of the diode and the one-dimensional Child-Langmuir (1-D CL) ratio.

Представлен комплекс диагностического оборудования генератора импульсного электронного пучка. На рис. 1 показан диодный узел ускорителя ТЭУ-500 [1] и расположение диагностического оборудования.

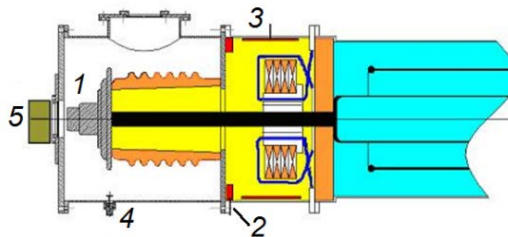


Рис. 1. Схема диодного узла и расположение диагностического оборудования:

1 – катод, 2- пояс Роговского, 3 – емкостный делитель напряжения,  
4 – дифференциальный делитель, 5 – цилиндр Фарадея

Измерительно-диагностический комплекс включает емкостной и дифференциальный делители напряжения [2] для измерения ускоряющего напряжения, пояс Роговского для измерения полного тока диодного узла, цилиндр Фарадея для измерения тока электронного пучка и тепловизионную диагностику распределения плотности энергии пучка по сечению [3]. В генераторе используется вакуумный диод с плоским цилиндрическим катодом диаметром 45 мм, выполненным из разных материалов.

Для измерения ускоряющего напряжения разработана конструкция, получены основные расчетные формулы и выполнено тестирование малогабаритного высоковольтного дифференциального делителя напряжения [2]. Получены условия, определяющие корректность использования делителя для измерения наносекундных высоковольтных сигналов. Для восстановления формы измеряемого напряжения необходимо интегрирование сигнала с выхода делителя напряжения. Эксперименты проводили на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500 с параметрами: ускоряющее напряжение 350–500 кВ, длительность импульса на полувысоте 80 нс, длительность фронта < 5 нс, полная энергия электронов в импульсе до 250 Дж. Частота следования импульсов составляла 1–3 импульса/с. Погрешность измерения не превышает  $\pm 10\%$ .

Для оперативного контроля параметров электронного пучка разработана тепловизионная диагностика [3]. Она обеспечивает измерение распределения плотности

энергии электронного пучка по сечению и полной энергии электронного пучка. Диагностика основана на регистрации тепловизором теплового отпечатка электронного пучка в материале с низкой объемной плотностью и низкой теплопроводностью. Тестирование тепловизионной диагностики выполнено на импульсном электронном ускорителе ТЭУ-500. Для регистрации теплового отпечатка использовали тепловизор Fluke-Ti10. Тестирование показало, что чувствительность типового тепловизора обеспечивает регистрацию термограммы импульсного электронного пучка за один импульс с плотностью энергии более  $0.1 \text{ Дж/см}^2$  (или с плотностью тока более  $10 \text{ А/см}^2$  при длительности импульса 80 нс и энергии электронов 400 кэВ) с пространственным разрешением 0,9–1 мм. В отличие от методики с использованием радиочувствительных (дозиметрических) материалов [4], тепловизионная диагностика не требует дорогостоящих расходных материалов и много времени на обработку.

Представлен алгоритм и результаты расчета интегрального и дифференциального спектров импульсного пучка электронов. Расчет спектра электронов выполнен по осциллограммам ускоряющего напряжения, электронного тока, полного тока диодного узла и по одномерному соотношению Child-Langmuir (1-D CL). Результаты расчетов показаны на рис.2.

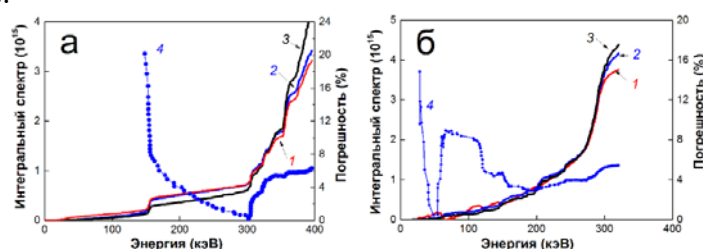


Рис. 2. Интегральный спектр электронов, рассчитанный по электронному току (1), полному току в диодном узле (2) и по 1-D CL (3). Погрешность расчета спектра по полному току (4). Графитовый катод (а) и катод из углеродной ткани (б)

Получено, что расхождение интегральных спектров электронов при измерении по полному току в диоде и по току электронного пучка не превышает 15% для (80-95)% электронов, генерируемых в диоде с катодом из графита, углеродной ткани и многоострийным катодом. При расчете спектра электронов по 1-D CL погрешность значительно выше.

*Работа поддержана РФФИ, грант № 19-38-90001.*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Isakova Yu., Kholodnaya G., Pushkarev A. Influence of cathode diameter on the operation of a planar diode with an explosive emission cathode // *Advances in High Energy Physics*. – 2011. – vol. 2011. – Article number 649828.
2. Исакова Ю.И., Пушкарев А.И., Холодная Г.Е. Дифференциальный высоковольтный делитель напряжения // *Приборы и техника эксперимента*. – 2011. – № 2. – С. 39–43.
3. Pushkarev A., Kholodnaya G., Sazonov R., Ponomarev D. Thermal imaging diagnostics of high-current electron beams // *Review of Scientific Instruments*. – 2012. – vol. 83. –no.10. – Article number 103301.
4. Генералова В.В., Гурский М.Н. Дозиметрия в радиационной технологии. – М.: Издательство стандартов, 1981. – 184 с.